

東北地方におけるクマタカの生息に影響する要因

葉山 雅広*

要 旨 クマタカ (*Nisaetus nipalensis*) の生息地保全に必要な知見を得ることを目的に、生息に影響している要因の解明を行なった。調査は青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県の6県の全域を対象とし、巣が確認されている生息区と生息情報がない森林地帯から選定した対照区との環境を比較した。生息環境を評価するため地形的要素、植生的要素、景観的要素から指標を作成した。解析手法は、分布情報の有無を応答変数とした同時自己回帰モデル (simultaneous autoregressive model: SAR) である。また、多雪地と少雪地とで、生息に影響する要因が異なっていないかを検証するため、データセットを2分して同様の解析を行なった。解析の結果、クマタカの生息には営巣環境として地形が制限要因になっており、行動圏内の採食環境も重要であることが示唆された。多雪地と少雪地を比較すると、多雪地では地形的要素の影響が強く反映されている一方、少雪地では植生的要素の影響が比較強いこと、急傾斜地の多さは多雪地では負に作用するが少雪地では正に作用していることなどが示された。これらの結果は雪崩やグライダーなどを通して、積雪が植生に与えている影響が間接的に表れたものと推測された。

キーワード クマタカ、*Nisaetus nipalensis*、生息適地、SAR、積雪

1. はじめに

クマタカ *Nisaetus nipalensis* はインド南西部、インド北部から中国南部・東部、台湾、日本に分布する猛禽類で、国内には亜種 *N. n. orientalis* が北海道から九州の山地の森林に生息している (森岡ら 1998; 日本鳥学会 2012)。クマタカの造巣期は1~2月から始まり、3月に産卵し7~8月に雛が巣立つ (森岡ら 1998; 環境省 2012)。つがいは1年をとおして同じ地域に生息し、冬期であっても移動しない (森岡ら 1998)。クマタカは「絶滅のおそれのある野生動植物種の保存に関する法律」により国内希少野生動植物種に指定されており、個体およびその生息環境を保全するためのさまざまな取り組みがなされている (環境省 2012)。

ある種を保護するためには、生息の鍵となる要因を明らかにすること、そして潜在的な生息

適地を予測することが非常に有益である。そのため、既知の分布情報を基に解析を行い、モデルを作成するという手法がしばしば利用される (Guisan & Zimmermann 2000; Turner et al. 2001; Pearce & Boyce 2006)。モデルを活用することの利点としては、現在分布が確認されていないが好適な生息環境がある地域を予測できる点、そして、将来的に土地利用などが変化した場合にそれが分布にインパクトを与えうるのかをある程度予測することができる点などがあげられ (Scott et al. 2002)、複数のモデルがレビューされている (Austin 2002; Anderson et al. 2003; Guisan & Thuiller 2005; Phillips et al. 2006)。猛禽類に関しても多くの種で生息適地の予測等にモデルが利用されている (Austin et al. 1996; Reich et al. 2004; Schmidt & Bock 2005; Matsuura et al. 2005; 百瀬ら 2005; López-López et al. 2006)。

* 東北鳥類研究所小笠原支部 〒100-2211 東京都小笠原村母島字元地

クマタカに関しては、これまでに北海道（鈴木ら 2001）、岩手県（伊藤ら 2004）、山形県最上地方（杉山ら 2009）、鳥取県（伊藤ら 2012）において生息環境の解析や分布予測モデルの作成が行われてきた。これらの先行研究から示された結果には、クマタカの分布には地形に関連する要素が影響しているという点が共通していた。そして、伊藤ら（2004）と杉山ら（2009）は地形とともに樹林地の面積も関係していることを示した。また、山崎（1994）は、13つがいの営巣環境を調査した結果、営巣場所の多くはV字谷で、すべての営巣木は急傾斜地に分布していたことを示した。クマタカはニホンリス *Sciurus lis* やノウサギ *Lepus brachyurus* などの小型から中型の哺乳類、ヤマドリ *Syrnaticus soemmerringii* などの鳥類のほかアオダイショウ *Elaphe climacophora* など多様な種を捕食しており（森岡ら 1998；布野ら 2000；柏原・安田 2004；Kaneda 2009）、採食環境としても急傾斜地を多く利用していることが目視調査結果の解析から示されている（名波ら 2006）。しかし、多雪地においては卓越風や地形、積雪量などにより特徴的な景観が形成されており（梶本ら 2002；菊池 2001；小野寺ら 1995；下川 1988；横山 2002）、クマタカの分布に対する地形や植生の影響は多雪地と少雪地とで異なっていることが予測される。クマタカの生息地保全を目的とした植生管理を行うためには、積雪の影響を考慮しながら潜在的な生息適地を検討することが重要だと考えるが、これまでに積雪量を加味したモデルは作成されていない。

そこで本研究では、クマタカの生息に関連する要因を明らかにし、そこに積雪が関係しているのかを検証するため、従来の研究よりも広範囲の情報をを用いてモデルによる検証を行い、さらに多雪地と少雪地とでクマタカの分布に影響している要因に違いがあるのかを検証した。広範囲の情報をを用いたモデルによる検証では、東北地方6県におけるクマタカの巣の位置情報を用いて、巣がある地域（以降、生息区とよぶ）と生息情報が無い地域（対照区）からデータセットを作成して行なっ

た。積雪量に関する検証は、データセットを最深積雪深によって雪が多い地域と少ない地域の2組に分けて比較した。

2. 調査地と方法

(1) 調査地

調査地は青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県の全域である。

(2) 解析に利用したデータセット

クマタカの巣の位置情報は、林野庁東北森林管理局と関東森林管理局の協力により得たもので、分布情報が無い森林地帯に「対照区」を設け、巣が確認されている「生息区」と比較した。解析に利用した情報は、各巣から半径3kmの円形の範囲を集計範囲とし、植生区分別の面積など、生息に関連すると思われる指標を集計した。集計は巣からの距離ごとに行い、半径0.5km、1km、1.5km、2km、2.5km、3kmの距離で集計した。これは、巣周辺の営巣に適した環境とより広い行動域とでは、潜在的な好適環境を示す指標が異なるのではないかと考えたためである。環境アセスメントなどでは、クマタカが高頻度に利用する範囲を便宜的に巣から半径1.5kmの範囲と想定することもあるが（環境省 2012）、本研究では生息に影響する要因を明らかにすることを目的としているため、500mずつ集計範囲を拡張し、巣周辺の環境から高頻度に利用する範囲の環境、そして、行動圏の大部分を含むと推測されるランドスケープレベルの環境を比較した。また、1つがいの行動域内に複数の古巣がある場合は、それぞれの巣ごとに集計した各指標の値を平均してその生息区の値とし、262の巣に対して集計を行い、162の生息区のデータを得た。

対照区はクマタカの生息が確認されていない森林地帯とし、標準メッシュの2次メッシュを単位として、次のように選定した。①調査地全域を含む799の2次メッシュのうち、メッシュの重心から半径3kmの範囲が生息区と一部でも重複するものは除外した。②日本鳥類保護連盟（2004）を

参照し、クマタカの生息情報がある2次メッシュを除外した。③臨海部については、メッシュの重心から半径3km圏内に占める陸地の割合が90%未満のメッシュを除外した。④クマタカは森林に生息するので、あらかじめ森林率の低い地域を除外した。除外したのは、2次メッシュの重心から半径0.5km～3km圏の各集計範囲の森林率が、生息区の森林率の最低値以下のメッシュである。

積雪量の多寡による地域区分に関しては、年最深積雪深が50cm以上の地域を多雪地、50cm未満の地域を少雪地とした(図1)。これは、気候地形学的見地から東北地方の自然領域区分を行なった下川(1988)を参考にした。下川(1988)は、雪食地形や多雪植生の形成は積雪条件によってのみ決定されるわけではないが、積雪深は景観を形成する重要な要因になっており、多雪景観域は最深積雪深150cm以上の地域と、準多雪景観域は50～100cm以上で150cm未満の地域と、寡雪景観域は50cm以下の地域とほぼ一致していることを示した。また、日本海側の多雪地に分布するチシマザサ *Sasa kurilensis* やチマキザサ *Sasa palmata* と太平洋側に分布するミヤコザサ *Sasa nipponica* は積雪深50cmのミヤコザサラインを境に分布が分かれていることも知られており(薄井1961)、東北地方においては積雪深50cmで地域を区分することは一定の妥当性があると考えた。積雪深に関する情報は、国土数値情報ダウンロードサービス(国土交通省国土政策局国土情報課・オンライン)のメッシュ平年値2010から3次メッシュの年最深積雪を用い、生息区では巢の位置する3次メッシュの値を、対照区では重心が位置する3次メッシュの値を解析に使用した。積雪深による地域区分を行なった結果、生息区は162地区(多雪地143、少雪地19)、対照区は113地区(多雪地82、少雪地31)となった。

植生に関する情報は、自然環境GIS(環境省自然保護局生物多様性センター・オンライン)の現存植生図を利用し、相観によって集約した。その際に、高山帯や亜高山帯に位置していたクマタカの巢は全く無かったことから、亜高山帯よりも高



図1 最深積雪深50cm以上の多雪地域

メッシュ平年値2010の年最深積雪(国土交通省国土政策局国土情報課・国土数値情報ダウンロードサービス)を用いて作図

標高域の森林や草地を分けて次のように集約し、各面積を集計した。「亜高山帯・高山帯の天然林」、「亜高山帯・高山帯の低木林」、「亜高山帯・高山帯の草地」、「天然林(亜高山帯・高山帯を除く)」、「低木林(亜高山帯・高山帯を除く)」、「草地(亜高山帯・高山帯を除く)」、「人工林」、「農耕地」、「市街地」、「開放水域」。亜高山帯・高山帯の区分は、現存植生図の集約群落名および群落名を参照した。低木林と天然林の区分については現存植生図の各報告書の記述から判断したもので、低木林は高木にならない樹種によって構成されている群落や局地的に低木でありつづける群落(自然低木群落、ヒメヤシャブシ・タニウツギ群落、河辺ヤナギ群落、ウラジロヨウラク・ミヤマナラ群団など)とした。

地形の状況を表す指標は、先行研究の解析結果

も考慮し「傾斜 30°以上の急傾斜地の割合」、「地上開度の平均値」、「平均標高」、「傾斜の標準偏差 (SD)」、「巣（対照区では重心）の標高よりも高い地域の面積割合」を用いた。地上開度とは、ある地点で上空を見上げた際にどれくらい開けているかを示し、一般に、周囲から高く突き出ている地点ほど大きくなり、山頂や尾根では大きな値をとり窪地や谷底では小さい値となる（横山ら 1999; Yokoyama et al. 2002）。これらの値は、基盤地図情報（国土交通省国土地理院・オンライン）から 10 m DEM の標高値を用いて算出した。

景観の特徴を表す指標は多数提案されているが、互いに強い相関を持つ指標も多く（Cushman et al. 2008）、本研究では景観のモザイク状態を示す指標として Shannon の「多様度指数」を用いた。景観は現存植生図を基に市街地、農耕地、草地、森林、開放水域の 5 区分に集約し、対象区分ごとにそれぞれの面積を求めた。多様度指数の値はこれらの面積が均等であれば高くなり、何れかに偏って均等ではなければ低くなる。傾斜区分図の作成や各林相の面積集計には ArcGIS 10.1 (ESRI Inc. 2013) を用い、景観の多様度指数は Fragstats 3.3 (McGarigal et al. 2002) を使用して得た。

(3) 解析方法

モデルの作成に先立ち、多雪地と少雪地における傾斜と植生の関係を明らかにするために、傾斜区分ごとの林相別面積割合を比較した。傾斜区分は国土交通省が行っている土地分類基本調査の傾斜区分図に倣って次の 7 つに区分した、「3 度未満」、「3 度以上～8 度未満」、「8 度以上～15 度未満」、「15 度以上～20 度未満」、「20 度以上～30 度未満」、「30 度以上～40 度未満」、「40 度以上」。

解析には生息情報の有無を応答変数とした同時自己回帰モデル (simultaneous autoregressive model: SAR) を利用した。空間的自己相関とは、空間的に近い点どうしは類似した属性を示すことを指す。SAR は空間的自己相関を考慮したモデルで、隣接行列の作成には巣（複数の巣がある場合には最新の巣、対照区ではその重心）の緯度と経度を用いた。

SAR によるモデル作成はすべての説明変数の組合せでモデルを作成し、それらのモデルの中から赤池情報量基準 (AIC) を用いたモデル選択によって、少ない説明変数で応答変数を最もよく説明しているモデルを抽出した (Burnham & Anderson 2002)。また、モデル選択によって選ばれたモデルの予測精度を評価するために、ROC (receiver operating characteristic curve)

表 1 解析に使用した変数

	変数	備考
地形的要素	急傾斜地の面積割合	30 度以上の急傾斜地の面積割合
	地上開度の平均値	
	平均標高	
	傾斜の標準偏差	
	巣より標高が高い土地面積の割合	対照区では 2 次メッシュの重心の標高
植生的要素	天然林面積	高山帯と亜高山帯の天然林を除く
	低木林の面積	高山帯と亜高山帯の低木林を除く
	草地の面積	高山帯と亜高山帯の草地を除く
	農地面積	果樹園等の樹園を含む
景観的要素	景観の多様度指数	Shannon's Diversity Index (SHDI)

すべての説明変数は平均 0、標準偏差 1 に標準化した

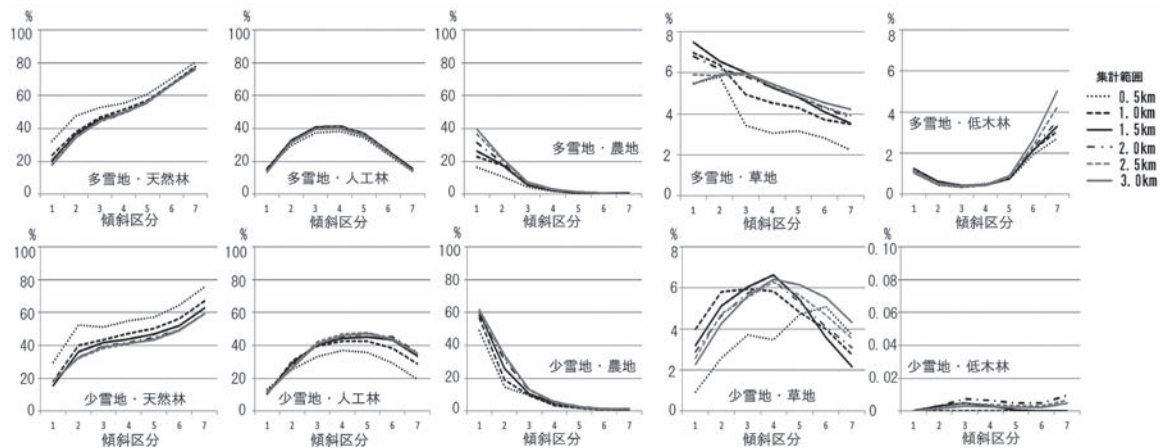


図2 クマタカ生息地での植生の面積構成割合と傾斜との関係

傾斜区分は次のとおり。1：0度以上～3度未満、2：3度以上～8度未満、3：8度以上～15度未満、4：15度以上～20度未満、5：20度以上～30度未満、6：30度以上～40度未満、7：40度以上

曲線による分析を行なった。ROC 曲線の作成は、集計範囲が0.5km～3kmのそれぞれのモデルに対して行い、ROC 曲線下面積（AUC: area under the curve）によって各距離のモデルの予測精度を比較した。以上の解析には R 3.1.1 (R Development Core Team 2014) を使用し、SAR の作成にはパッケージ spautolm を使用した。また、各説明変数がクマタカの分布に影響した強さを比較するために、説明変数はすべて平均0、標準偏差1に標準化した。そして、多重共線性を回避するため、説明変数のうち相関係数が0.7以上または VIF が10以上の変数の組合せについてはいずれかの変数を除外した。その結果、30以上の指標を集計したものの、「標高の標準偏差」、「平均傾斜」、「高山帯・亜高山帯の天然林面積」、「人工林面積」、「林縁の複雑さ (FDI)」、「森林の塊ぐあい (CI)」など多くの変数を除外することとなり、解析には表1に示した10変数を用いた。

3. 結果

(1) クマタカ生息区での傾斜と林相別面積

生息区が多雪地と少雪地の傾斜区分ごとの林相別面積割合を比較すると(図2)、草地と低木林において明確な違いがみられた。草地は多雪地では緩傾斜地に多く、傾斜が急になるほど草地の面

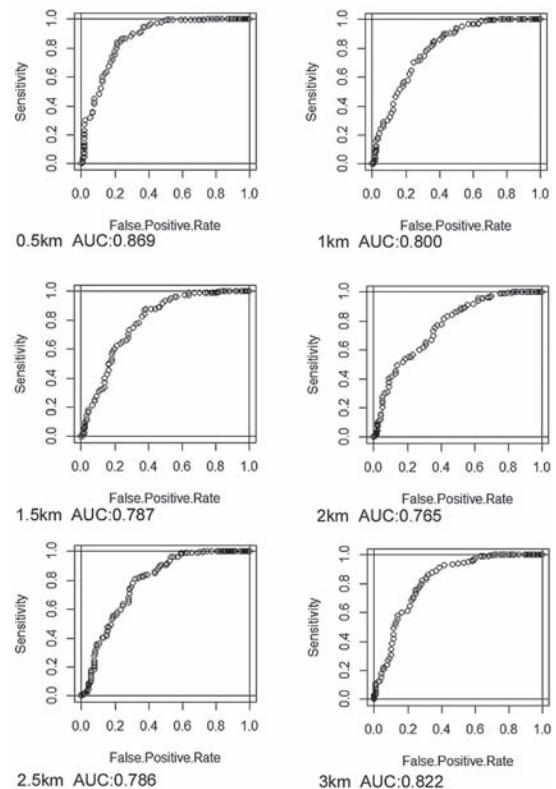


図3 集計範囲ごとの ROC 曲線

積は減少した一方で、少雪地では15～20度の傾斜地をピークに、緩傾斜地と急傾斜地で減少する山型の分布をしていた。低木林は少雪地にはほとんど分布しておらず、多雪地の30度以上の急傾斜地に多く分布していた。その他の林相では多雪地、少雪地とも類似した傾向を示しており、天然林は多雪地、少雪地とも平坦地で少なく、急傾斜地ほど多い傾向が見られた。また、0.5kmでは他の集計距離よりも天然林の構成割合が高かった。人工林は多雪地、少雪地とも傾斜が20度ほどの傾斜地に多く、平地と急傾斜地で少なかった。農地は多雪地、少雪地とも平地から傾斜8度未満の

緩斜面で多く、15度以上の傾斜地では急激に減少した。

(2) クマタカの生息に影響している要素

モデル選択の結果、全体としては各集計範囲とも「地上開度」、「急傾斜地の割合」、「傾斜SD」が強く作用しており、クマタカの生息に地形的要素が強く影響していることが示された(表2-(a))。「地上開度」は総じて負に作用しており、クマタカの生息地には深い谷が多いことが示された。その他に、植生的要素では「草地面積」が、景観的要素では「景観の多様度」が比較的強く作

表2 モデル選択の結果 AIC が最も小さかったモデル

(a) 全体(積雪区分なし)

集計 距離	AIC	AUC	切片	標準化偏回帰係数の推定値									
				急傾斜地 の割合	地上 開度	平均 標高	傾斜 SD	巣より高 いところ の割合	天然林 面積	低木林 面積	草地 面積	農地 面積	景観の 多様度
0.5km	197.12	0.869	0.574*	-0.062*	-0.165*		0.084*	-0.041*	0.040	-0.044*		-0.051*	
1.0km	201.55	0.800	0.577*	-0.079*	-0.143*		0.122*		0.039		0.074*		-0.081*
1.5km	200.65	0.787	0.576*	-0.107*	-0.152*		0.115*		0.041		0.095*		-0.101*
2.0km	221.79	0.765	0.576*	-0.070*	-0.065*		0.137*	0.034	0.040		0.111*		-0.099*
2.5km	209.06	0.786	0.575*	-0.127*	-0.122*		0.132*	0.046*	0.039		0.091*		-0.098*
3.0km	205.02	0.822	0.574*	-0.109*	-0.111*		0.127*	0.046*	0.038		0.099*		-0.106*

*: 95% Wald 信頼区間に0が含まれない

(b) 多雪地と少雪地の比較

積雪 区分	集計 距離	AIC	AUC	切片	標準化偏回帰係数の推定値									
					急傾斜地 の割合	地上 開度	平均 標高	傾斜 SD	巣より高 いところ の割合	天然林 面積	低木林 面積	草地 面積	農地 面積	景観の 多様度
多 雪 地	0.5km	159.77	0.842	0.625*	-0.079*	-0.151*		0.068*	-0.034	0.042	-0.042	0.046	-0.051*	
	1.0km	162.15	0.769	0.630*	-0.093*	-0.148*		0.095*		0.052*		0.061*		-0.064*
	1.5km	164.33	0.745	0.633*	-0.118*	-0.150*		0.092*		0.058*		0.048*		-0.085*
	2.0km	179.94	0.719	0.631*	-0.055	-0.066*		0.078*		0.066*		0.077*	-0.080*	
	2.5km	169.29	0.769	0.630*	-0.128*	-0.117*		0.104*	0.038	0.066*		0.086*		-0.084*
	3.0km	164.22	0.800	0.628*	-0.109*	-0.112*		0.103*	0.040	0.064*				-0.089*
少 雪 地	0.5km	26.69	0.969	0.379*	0.140	-0.237*			-0.074			0.104*		
	1.0km	35.04	0.847	0.377*	0.195*			0.121				0.204*	0.167*	-0.274*
	1.5km	29.31	0.957	0.382*		-0.429*	-0.058		0.091*			0.073		
	2.0km	39.12	0.790	0.354*				0.231*				0.271*	0.210*	-0.330*
	2.5km	38.24	0.832	0.360*				0.228*	0.069			0.261*	0.255*	-0.369*
	3.0km	39.38	0.754	0.355*				0.196*				0.272*	0.189*	-0.346*

*: 95% Wald 信頼区間に0が含まれない

用していた。ただし、0.5km と 1km 以遠ではいくつかの相違がみられ、「巣より高いところの割合」は、0.5km では負に作用したが、2km 以上の距離では正に作用していた。また、「草地面積」と「景観の多様度」は 0.5km では選択されなかったが、1km 以遠では選択されていた。

集計距離ごとに選択されたモデルの説明変数をみると、0.5km では「地上開度」が最も強く影響しており、次いで「傾斜 SD」、「急傾斜地の割合」、「農地面積」、「低木林面積」、「天然林面積」が選択されたが、「地上開度」に比べるとその影響は弱いものであった。1.0km では「地上開度」、「傾斜 SD」、「景観の多様度」の順に強く作用し、次いで「急傾斜地の割合」、「草地面積」、「天然林面積」の順であった。1.5km で選択された変数は 1km と同じであった。2km ～ 3km では「傾斜 SD」、「草地面積」、「景観の多様度」、「急傾斜地の割合」、「地上開度」であった。なお、各集計範囲の AIC が最も小さいベストモデルの AUC を比較すると、0.5km 圏が最も予測精度が高かった（表 2-(a)、図 3）。

(3) 多雪地と少雪地との比較

クマタカの生息に影響する要因が多雪地と少雪地で異なっているのかを検証した結果、選択されたモデルの説明変数が異なっており、また、標準化偏回帰係数の正負が異なっているモデルもあった。「急傾斜地の割合」は多雪地では負に作用するが少雪地では正に作用し、「天然林面積」は多雪地ではすべての集計範囲で正に作用していたが、少雪地ではまったく選択されなかった（表 2-(b)）。全体的な傾向として、多雪地では少雪地よりも地形的要素が強く作用しており、特に 2km 以遠でその傾向が強く見られた。

選択されたモデルの説明変数の中で、0.5km では多雪地で「地上開度」が最も強く、次いで「急傾斜地の割合」、「傾斜 SD」の順で強く作用しており、少雪地では「地上開度」、「急傾斜地の割合」に加えて「草地面積」が強く作用していた。1km の多雪地では 0.5km とほぼ同様で「地上開度」、「急

傾斜地の割合」、「傾斜 SD」の地形的要素が強く作用していたが、少雪地では「景観の多様度」が最も強く作用し、「草地面積」、「急傾斜地の割合」の順であった。1.5km でも多雪地では「地上開度」が最も強く、次いで「急傾斜地の割合」、「傾斜 SD」、「景観の多様度」が続き、少雪地では「地上開度」が顕著に強く作用していた。2km では、多雪地では「農地面積」、「傾斜 SD」が強く作用し、少雪地では「景観の多様度」、「草地面積」、「傾斜 SD」、「農地面積」の順に強く作用していた。2.5km と 3km では多雪地、少雪地とも類似した変数が選択され、多雪地では「急傾斜地の割合」、「地上開度」、「傾斜 SD」が、少雪地では「景観の多様度」、「草地面積」、「農地面積」、「傾斜 SD」が強く作用していた。なお、AUC は多雪地、少雪地とも 0.5km 圏が最も高く、少雪地は多雪地よりも各集計距離で高い値を示していた（表 2-(b)）。

4. 考察

(1) クマタカの分布に影響している要素

モデル選択の結果、集計距離の 0.5km から 1.5km では「地上開度」が、2km から 3km では「傾斜 SD」がクマタカの分布に最も強く影響しており、各集計距離とも地形的要素が強く影響していた。しかし、説明変数間の標準化偏回帰係数の絶対値の差に着目すると、0.5km で最も強く影響していた「地上開度」は -0.165 で、2 番目に強く影響していた「傾斜 SD」の係数 0.084 に比べ、特に強く作用していることが示された。1km では最も強く影響した「地上開度」の係数は -0.143 で、2 番目に強く影響した「傾斜 SD」は 0.122 と、係数の絶対値の差は小さくなっており、1.5km 以遠でも最も強く影響した説明変数と 2 番目に影響した説明変数の係数の絶対値の差は 0.5km よりも小さくなっていた。0.5km で「地上開度」が他の説明変数に比べ相対的に強く影響していたことは、営巣環境において谷地形であることが特に重要であることを示唆しており、山崎（1994）の営巣場所の多くは V 字谷であったという結果と矛盾しない。また、0.5km では「巣よりも高いと

ころの割合」が負に作用し2km以遠では正に作用していたことは、巣は営巣斜面においては最高標高地点と最低標高地点の中間よりも上部に位置し、より大きなスケールでは行動圏内の最高標高地点と最低標高地点の中間よりも下に位置していたという山崎(1994)の報告と合致する。一方で、1km以遠の集計距離に関しては、「草地面積」や「景観の多様度」が0.5kmよりも強く影響する傾向が見られた。「草地面積」はクマタカの採食環境と関係していると推測される。「景観の多様度」は景観が小さい規模でモザイク化されることが負に作用することを示しており、これはクマタカの捕食対象となる動物の生息環境と関係するのではないかと推測される。生息適地としての行動圏は、採食環境や食物となる種の生息環境等として適した環境の存在が重要であることが示唆された。

杉山ら(2009)が山形県で行なったクマタカの生息適地の推定モデルでは、半径1km圏内の谷地形の分布状況と半径3km圏内の樹林地の面積割合の2つの指標が重要であることが示された。本研究では、0.5km圏で地上開度が強く作用し、1kmから3kmでは植生的要素と景観的要素が比較的強く作用した。この結果は、杉山ら(2009)の結果と傾向としては矛盾しないが、相違点も見られた。杉山ら(2009)は1km圏内の谷の分布状況が選択されたことから、クマタカの繁殖テリトリー内に谷地形が存在することが生息環境として重要ではないかと推測している。繁殖テリトリーとは、クマタカのペア形成・産卵・育雛に必要な範囲で、その面積は半径1km圏の面積と概ね一致するとされている(クマタカ生態研究グループ2000)。本研究では、巣から半径0.5km圏のモデルの精度が最も高く、クマタカのつがいが生息する要因として営巣環境が最も重要であることを示唆している。また、杉山ら(2009)の結果では樹林地の面積割合が重要な指標として選択されたが、本研究では「天然林面積」は強く影響していなかった。本研究では生息区の森林面積を基準に対照区を選定しており、生息区と対照区の森林面積に大きな差が無いことが杉山ら(2009)と

異なる結果になったことと関係していると思われる。

鈴木ら(2001)が北海道で行なったクマタカの潜在的な分布予測では、分布を制限する要因として地形に関する指標が影響していたが、広葉樹林や針葉樹林の面積は影響していないことが示唆された。この結果について鈴木ら(2001)は、現状のデータが十分ではない可能性もあるが、土地の人為改変などによる森林の分断化のほうが強く影響しているのではないかと述べている。本研究では、植生的要素としては鈴木ら(2001)が解析に用いなかった「草地面積」がクマタカの分布に影響していたものの、「景観の多様度」のほうが「天然林面積」よりも強く作用しており、景観のモザイク化が負に作用することが示された。この結果は、ランドスケープレベルでは森林の分断化のほうが、森林資源量よりもクマタカの潜在的な分布に影響しているのではないかと鈴木ら(2001)の予測と合致する。伊藤ら(2004)は、岩手県で行なったクマタカの潜在的分布域推定の結果から、標高が高く、傾斜が急で、森林面積率が高い地域にクマタカが生息すると推定した。本研究では「平均標高」の影響はほとんど示されなかったが、これは対照区のサンプリングをクマタカが生息する可能性が高い森林地帯に限定したことが関係していると思われる。また、「傾斜SD」は正に強く作用し、「急傾斜地の割合」は負に作用していたので、単に傾斜が急な地域というよりも、急傾斜地も含む多様な傾斜があることが重要ではないかと推測された。

(2) 多雪地と少雪地との比較

多雪地と少雪地とを比較した結果、クマタカの分布に影響する要因が異なっており、クマタカの分布に積雪が関係していることが示された。しかし、山形県で行われた調査では、繁殖期の降雪量はクマタカの繁殖結果に強い影響を及ぼしてはいなかった(葉山ら2014)。また、環境省(2012)においても、東北地方にクマタカが広く分布していることが示されている。そのため、東北地方の

森林地帯においては、例年多くの雪が降るという多雪地であること自体がこの地域のクマタカの生息阻害要因となっている可能性は低いと推測される。モデル選択によって多雪地と少雪地を比較した結果、多雪地では地形的要素が強く影響している傾向が、少雪地では植生的要素や景観の要素が強く影響している傾向がみられた。このことは多雪地での生息適地としての条件に対して、積雪が間接的に影響していることを示していると考えられる。多雪地では同じ山地でも風衝斜面と風背斜面とで、積雪移動によって樹種や樹形が異なることが知られており（小野寺ら 1995）、多雪であることは、移動雪圧、雪崩、長い積雪期間、融雪水による土壌の過湿状態など、山地帯から高山帯では生態的環境に対する最も重要な地因子となっている場合が多いとされる（横山 2002）。このような雪による植生への影響は地形と密接に関係しているため、多雪地では少雪地に比べて地形的要素がクマタカの分布により強く影響したと考えられた。また、「急傾斜地の割合」は多雪地では 0.5km から 3km までのすべての集計範囲で負に作用していたが、少雪地では 0.5km と 1km でのみ正に作用し、1.5km 以遠では選択されなかった。一般的には営巣木の立地は急傾斜地が多いとされており（環境省 2012）、狩り場環境としても急傾斜地であるほど選好性が高かった（名波ら 2006）。本調査地でもクマタカは急傾斜地に分布する樹木を営巣に利用しており、少雪地で集計距離が 1km 未満の巣の周辺では、「急傾斜地の割合」が正に作用していたことは急傾斜地が営巣に適した立地であることと関係していたのではないかと推測される。しかし、雪崩の発生斜面は 35～45 度の範囲が最も多いとされ、急傾斜地では雪崩による樹木の根返りによるピットやマウンド、地形の浸食もしばしば観察される（梶本ら 2002）。傾斜区分ごとに植生面積割合を比較した結果、低木林の面積割合は多雪地の急傾斜地で高く、その低木林の内訳は風衝地など森林が成立しない立地にみられる自然低木林と雪崩地に成立するヒメヤシャブシ・タニウツギ群落が多くを占めていた。これらのこ

とから、多雪地の急傾斜地では雪崩やグライドなどの作用により、営巣に適した林分で攪乱が生じやすく、低木林の割合が高くなりやすい上、より広域の行動圏に関しては景観のモザイク化などが生じる可能性が高いと考えられる。そのため、営巣に利用する急傾斜地が確保されるのであれば、それ以上に急傾斜地の割合が高くなることはむしろクマタカの分布に対して負に作用したのではないかと推測された。また、クマタカの狩り場環境の推定を行なった名波ら（2006）は、急傾斜地であるほど選好性が高かったことに関して、緩傾斜地であるほど林業活動が盛んであることの二次的な結果である可能性と獲物を探す際の視野の広さが理由であるかもしれないとしている。しかし、本研究では少雪地でも 1.5km から 3km では「急傾斜地の割合」は選択されなかった。本研究は分布に対する影響を検討したものであるため、今回の結果がクマタカの狩り場に関係する要因をどの程度反映しているのかは明らかではない上、急傾斜地とそこに成立している植生との関係は調査地によって異なっている。しかし、本研究の結果から、クマタカの狩り場としての急傾斜地の評価は、今後さらに検討する必要があるのではないかとと思われる。

これまでクマタカの分布を予測するためのモデルが複数作成され、地形的な要素が強く影響することが示されている。しかし、本研究では、地形的要素が多雪地と少雪地とで逆に作用する例があることが示された。これは、クマタカ以外の種についても、広域で生息適地の推定を行う際には積雪量や卓越風など植生の成立に関連する要素を重視する必要があることを示している。また、巣の周辺 0.5km 圏とそれ以遠とで、逆に作用する地形的要素がみられたことも、モデルを作成する上でスケールに十分留意すべきことを改めて示している。

謝辞

本研究に使用したデータの一部は林野庁東北森林管理局が実施した「クマタカ希少野生動植物種

保護管理対策調査」と関東森林管理局が実施した「クマタカの保護と森林施業等との共生に関する調査研究」によって作成されたものであり、両森林管理局にはデータの使用許可をいただいた。データのとりまとめにあたってはグリーン航業株式会社にご協力いただいた。関係された各位に対し、心より感謝いたします。

【引用文献】

- Anderson, R. P., Lew, D., & Peterson, A. T. (2003) Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological modelling* 162 : 211-232.
- Austin, M. P. (2002) Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological modelling* 157 : 101-118.
- Austin, G. E., Thomas, C. J., Houston, D. C., & Thompson, D. B. (1996) Predicting the spatial distribution of buzzard *Buteo buteo* nesting areas using a Geographical Information System and remote sensing. *Journal of Applied Ecology* 33 : 1541-1550.
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. (2002) *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. 2nd ed. Springer, New York.
- Cushman, S. A., McGarigal, K. & Neel, M. C. (2008) Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. *Ecological Indicator* 8 : 691-703.
- ESRI Inc. (2013) ArcGIS desktop for Windows, version 10.1. Redlands.
- 布野隆之・藤塚慎一郎・本村 健・大石麻美・高橋一秋・関谷義男・堀藤正義・和久井 紫・神主英子・弘中陽介・関島恒夫・阿部 學 (2000) CCD カメラ観察システムを用いた繁殖期におけるクマタカの餌利用解析. 新潟大学農学部研究報告 53 : 71-79.
- Guisan, A. & Zimmermann, N. E. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling* 135 : 147-186.
- Guisan, A. & Thuiller, W. (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters* 8 : 993-1009.
- 葉山雅広・由井正敏・今井 正 (2014) 変動するブナの結実状況の下でクマタカの繁殖に影響する要因. 日本鳥学会誌 63 : 297-310.
- 伊藤史彦・長澤良太・日置佳之 (2012) GISを用いた鳥取県におけるクマタカ (*Spizaetus nipalensis*) の潜在的生息地の推定と生息地保護に関する検討. 景観生態学 17 : 7-17.
- 伊藤健彦・三浦直子・恒川篤史 (2004) GISを活用した岩手県におけるクマタカの分布域推定. GIS - 理論と応用 12 : 67-72.
- 梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編著 (2002) 雪山の生態学 - 東北の山と森から - . 東海大学出版会, 東京.
- Kaneda H (2009) Prey selection and provisioning rate of a breeding pair of Hodgson's Hawk-eagles *Nisaetus nipalensis*. *Ornithological Science* 8 : 151-156.
- 環境省 (2012) 猛禽類保護の進め方 (改訂版) - 特にイヌワシ、クマタカ、オオタカについて - . オンライン. http://www.env.go.jp/nature/yasei/raptors/protection/guide_h2412.pdf 2014.9.17 確認
- 環境省自然保護局生物多様性センター 自然環境 GIS. オンライン. <http://www.biodic.go.jp/trialSystem/shpddl.html> 2014.6.17 確認
- 柏原 聡・安田成夫 (2004) ビデオモニタリングによるクマタカの繁殖生態解析 (II). 平成 15 年度ダム水源地環境技術研究所所報 : 77-86.
- 菊池多賀夫 (2001) 地形植生誌. 東京大学出版会, 東京.
- 国土交通省国土政策局国土情報課 国土数値情報ダウンロードサービス メッシュ平年値 2010. オンライン. <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html> 2014.9.28 確認
- 国土交通省国土地理院 基盤地図情報ダウンロードサービス. オンライン. <http://fgd.gsi.go.jp/download/> 2014.6.17 確認
- クマタカ生態研究グループ (2000) クマタカ・その保護管理の考え方. クマタカ生態研究グループ, 野洲.
- López-López, P., García-Ripollés, C., Aguilar, J. M., García-López, F. & Verdejo, J. (2006) Modelling breeding habitat preferences of Bonelli's eagle (*Hieraetus fasciatus*) in relation to topography, disturbance, climate and land use at different spatial scales. *Journal of Ornithology* 147 : 97-106
- Matsuura, T., Yokohari, M. & Azuma, A. (2005) Identification of potential habitat of gray-faced buzzard in *Yatsu* landscapes by using digital elevation model and digitized vegetation data. *Landscape and Urban Planning* 70 : 231-243.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C. & Ene, E. (2002) FRAGSTATS : Spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>, accessed 2012-3-27.
- 百瀬 浩・植田陸之・藤原宣夫・内田拓也・石坂健彦・森崎耕一・松江正彦 (2005) サシバ (*Butastur indicus*) の営巣場所数に影響する環境要因. ランドスケープ研究 68 : 555-558.
- 森岡照明・叶内拓哉・川田 隆・山形則男 (1998) 図鑑

- 日本のワシタカ類 第2版. 文一総合出版, 東京.
- 名波義昭・田悟和巳・鳥居由季子・柏原 聡 (2006) クマタカ *Spizaetus nipalensis* の狩場環境の推定. 応用生態工学 9 : 21-30.
- 日本鳥学会 (2012) 日本鳥類目録 改訂第7版. 日本鳥学会, 三田
- 日本鳥類保護連盟 (2004) 希少猛禽類調査報告書 (クマタカ編). 財団法人日本鳥類保護連盟, 東京.
- 小野寺弘道・田邊裕美・梶本卓也・大丸裕武 (1995) 多雪斜面における積雪動態と樹木の生態的特性. 森林立地 37 : 59-66.
- Pearce, J. L. & Boyce, M. S. (2006) Modelling distribution and abundance with presence-only data. *Journal of Applied Ecology* 43 : 405-412.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190 : 231-259.
- Reich, R. M., Joy, S. M. & Reynolds, R. T. (2004) Predicting the location of northern goshawk nests: modeling the spatial dependency between nest locations and forest structure. *Ecological Modelling* 176 : 109-133.
- R Core Team (2014) R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>, accessed 2014-9-26.
- Schmidt, E. & Bock, C. E. (2005) Habitat associations and population trends of two hawks in an urbanizing grassland region in Colorado. *Landscape ecology* 20 : 469-478.
- Scott, J. M., Heglund, P. J., Morrison, M. L., Haufler, J.B., Raphael, M.G., Wall, W. A. & Samson, F. B. (2002) *Predicting species occurrences -Issues of accuracy and scale-*. Island Press, Washington.
- 下川和夫 (1988) 多雪景観の分布からみた東北日本の自然領域区分. 札幌大学女子短期大学部紀要 12号. 61-82.
- 杉山智治・須崎純一・田村正行 (2009) 山形県におけるクマタカの生息適地推定モデルの構築. 景観生態学 13 : 71-85.
- 鈴木 透・金子正美・前川光司 (2001) ランドスケープレベルにおける潜在的なハビタットを予測するためのモデリングの手法 : 北海道に生息するクマタカ (*Spizaetus nipalensis*) によるケーススタディー. 国際景観生態学会日本支部会報 6.53-56
- Turner, M. G., Gardner, R. H. & O'Neill, R. V. (2001) *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer-Verlag, New York.
- 薄井 宏 (1961) ササ型林床優占種の植物社会学的研究. 宇都宮大学農学部学術報告特輯 11 : 1-35.
- 山崎 亨 (1994) 森林性大型猛禽類, クマタカの保護プログラムの確立と実践. 第Ⅰ期・第Ⅱ期プロ・ナトゥーラ・ファンダ助成成果報告書. 173-180.
- Yokoyama, R., Shirasawa, M. & Pike, R. J. (2002) Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric engineering & remote sensing*. 68 : 257-265
- 横山隆三・白沢道生・菊池祐 (1999) 開度による地形特徴の表示. 写真測量とリモートセンシング 38 : 26-34
- 横山秀司 (2002) 景観の分析と保護のための地生態学入門. 古今書院, 東京
- (2014 年 9 月 30 日原稿提出)
- (2014 年 11 月 6 日受理)

Factors Affecting the Distribution of Mountain Hawk-Eagles (*Nisaetus nipalensis*) in Northeast Japan

Masahiro Hayama

Abstract

To gain knowledge needed to preserve the habitat of the Mountain Hawk-Eagle (*Nisaetus nipalensis*). I determined factors affecting distribution in the entirety of six prefectures: Aomori, Iwate, Miyagi, Akita, Yamagata, and Fukushima, comparing the environments in breeding areas where nests were found and in control areas which were chosen from forested areas with no reports of distribution. I prepared indices from topography, vegetation, and landscape factors for assessing habitats. The analysis method was the simultaneous autoregressive model (SAR), which uses the existence or absence of distribution information as a response variable. To investigate whether factors affecting distribution differed between areas with heavy and light snowfall, I divided the data set into two groups and conducted the same kind of analysis. Results suggested that topography is a factor limiting the eagle's nesting environment, and that the foraging environment of its home range is also important. Comparison of areas according to snowfall amount found, for example, that in heavy-snowfall areas topographical factors are highly influential, while in light-snowfall areas vegetation influence is comparatively strong; and that while the prevalence of steep terrain has a negative effect in heavy-snowfall areas, it has the opposite effect in light-snowfall areas. These results were attributed to the indirect effects of snowfall on vegetation through avalanches and glides.

Key words

Mountain Hawk-Eagle, *Nisaetus nipalensis*, potential habitat, SAR, snowfall.